低聚木糖对生长肥育猪血浆生化参数和肌肉脂肪酸组成的影响

韩 丽[1] 潘 杰[2] 张 婷[1] 解培峰[1,2] 丁 浩[2,3] 黄兴国[2] 孔祥峰[1,2*]

（1.中国科学院亚热带农业生态研究所，亚热带农业生态过程重点实验室，长沙 410125；2.湖南农业大学，动物科学技术学院，长沙 410128；3.山东龙力生物科技股份有限公司，禹城 251200）

摘 要：本试验旨在研究低聚木糖（XOS）对生长肥育猪血浆生化参数和肌肉脂肪酸组成的影响。选取 70 日龄、平均体重约为 30 kg 的杜×长×大三元杂交猪 110 头，随机分为 11 组，每组 10 头（公母各占 1/2），单栏饲养。试验设对照组（饲喂基础饲粮），抗生素组（饲喂在基础饲料中添加 0.04 kg/t 速大肥、0.2 kg/t 抗敌素的饲粮），30~65 kg 阶段 100、250 和 500 g/t XOS 添加组（在 30~65 kg 阶段分别饲喂在基础饲粮中添加 100、250 和 500 g/t XOS 的饲粮，在 66~100 kg 阶段均饲喂基础饲粮），66~100 kg 阶段 100、250 和 500 g/t XOS 添加组（在 30~65 kg 阶段均饲喂基础饲粮，在 66~100 kg 阶段分别饲喂在基础饲粮中添加 100、250 和 500 g/t XOS 的饲粮，）以及 30~100 kg 阶段 100、250 和 500 g/t XOS 添加组（分别饲喂在基础饲粮中添加 100、250 和 500 g/t XOS 的饲粮）。于试猪平均体重达 100 kg（约 170 日龄）时，前腔静脉采血，离心分离血浆，测定生化参数；屠宰后取背最长肌和股二头肌样品，测定其脂肪酸组成。结果表明：与对照组相比，30~65 kg 阶段，饲粮添加 100 或 500 g/t XOS 可显著降低股二头肌中十七烷酸(C17:0)含量（P<0.05）；65~100 kg 阶段，饲粮添加 250 g/t XOS 可显著增加股二头肌中饱和脂肪酸（SFA）+单不饱和脂肪酸（MUFA）含量（P<0.05），添加 100 或 500 g/t XOS 可显著增加股二头肌中花生烯酸（C20:1）含量（P<0.05）；30~100 kg 阶段，饲粮添加 100 g/t XOS 可显著增加背最长肌中油酸/亚油酸以及股二头肌中 C20:1、MUFA 和 SFA+MUFA 含量（P<0.05），添加 100 或 250 g/t XOS 可显著降低血浆总胆固醇浓度（P<0.05），添加 500 g/t XOS 可显著增加血浆高密度脂蛋白-胆固醇浓度（P<0.05）。综上所述，饲粮添加一定剂量的 XOS 可通过调控与脂代谢相关的血浆生化参数、增加肌肉中 MUFA 和 SFA+MUFA 含量而改善猪肉的风味和营养价值，且以 30~100 kg 阶段添加 100 g/t XOS 为最佳。

收稿日期：2017-02-27

基金项目：国家 973 计划课题（2012CB124704）；山东龙力生物科技股份有限公司合作项目；中央驻湘科研机构技术创新发展专项（2013TF3006）

作者简介：韩 丽（1992—），女，河南周口人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail： 1404082917@qq.com

*通信作者：孔祥峰，研究员，博士生导师，E-mail： nnkxf@isa.ac.cn

关键词：低聚木糖；生长肥育猪；血浆生化参数；肌肉；脂肪酸

随着人们生活水平的提高，消费者对优质安全猪肉的需求越来越大。但在目前的养猪生产中，添加饲用抗生素已成为提高养殖效益的“重要手段”。长期添加饲用抗生素会造成动物机体免疫力下降，引起肠道微生态紊乱和病原微生物耐药性增强，导致猪肉风味降低以及猪肉产品中抗生素的残留等问题[1]。因此，研制既能替代饲用抗生素又能改善猪肉风味的安全高效的饲料添加剂已成为当务之急[2]。低聚木糖（xylo-oligosaccharide,XOS）是由 2~7 个木糖以 β-1,4-糖苷键连接而成的一种功能性低聚糖，具有耐酸、耐热、不易被机体消化酶消化等优势，可促进双歧杆菌和乳酸菌等有益菌的增殖，是目前所有低聚糖中活性最稳定的益菌因子[3]。研究表明，XOS 可被双歧杆菌等益生菌酵解为乙酸、丙酸和丁酸等短链脂肪酸[4]，这些代谢产物不仅能酸化肠道环境、抑制有害菌生长[5]，还能促进机体脂质代谢、降低血浆中胆固醇浓度，预防心血管疾病的发生等[6]。在断奶仔猪饲粮中添加 100 g/t XOS 可显著提高血浆乳酸脱氢酶活性，添加 500 g/t XOS 可显著提高血浆 α-淀粉酶活性[7]；在生长猪饲粮中添加 100~200 g/t XOS 可显著降低血清总胆固醇（TC）浓度，但不影响血清葡萄糖浓度[8]。本实验室前期研究发现，饲粮添加不同剂量的 XOS 虽对生长肥育猪的平均日增重和料重比无显著影响，但有增加平均日采食量的趋势［与对照组（2.05 kg）相比，各 XOS 添加组平均日采食量均有所提高，30~65 kg 阶段 100、250 和 500 g/t XOS 添加组，65~100 kg 阶段 100、250 和 500 g/t XOS 添加组以及 30~100 kg 阶段 100、250 和 500 g/t XOS 添加组平均日采食量分别为 2.08、2.10、2.11、2.09、2.08、2.12、2.12、2.11、2.16 kg］，并通过显著增加生长肥育猪肌肉粗蛋白质含量而改善猪肉的营养价值[9]。由上可见，国内外有关 XOS 用于畜禽养殖方面的报道较多，但关于 XOS 对生长肥育猪脂类代谢的研究相对较少，尤其是对肌肉脂肪酸组成的影响尚未见报道，且对 XOS 添加方式的研究并不多见。因此，本试验拟研究在不同生长阶段饲粮中添加不同剂量的 XOS 对生长肥育猪血浆生化参数和肌肉脂肪酸组成的影响，旨在为 XOS 在优质猪肉生产中的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物、分组与饲养管理

动物饲养试验于 2015 年 6—9 月在中国科学院亚热带农业生态研究所永安动物试验基地开展。试验选取 70 日龄、平均体重约为 30 kg 的杜×长×大三元杂交猪 110 头，随机分为 11 组，每组 10 头（公母各占 1/2），于 0.6 m×1.1 m 的单栏中饲养。试验设对照组（饲喂基础饲粮），抗生素组（饲喂在基础饲粮中添加 0.04 kg/t 速大肥、0.2 kg/t 抗敌素的饲粮），30~65 kg 阶段 100、250 和 500 g/t XOS 添加组（在 30~65 kg 阶段分别饲喂在基础饲粮中添加 100、

250 和 500 g/t XOS 的饲粮，在 66~100 kg 阶段均饲喂基础饲粮），66~100 kg 阶段 100、250 和 500 g/t XOS 添加组（在 30~65 kg 阶段均饲喂基础饲粮，在 66~100 kg 阶段分别饲喂在基础饲粮中添加 100、250 和 500 g/t XOS 的饲粮，）以及 30~100 kg 阶段 100、250 和 500 g/t XOS 添加组（分别饲喂在基础饲粮中添加 100、250 和 500 g/t XOS 的饲粮）。各组试猪饲喂至体重达 100 kg 左右（约 170 日龄）时屠宰采样。XOS 由山东龙力生物科技有限公司提供（主要成分为木二糖、木三糖和木四糖，XOS 含量≥35%）。本研究中 XOS 的添加剂量根据前人报道[7-8]及生产厂家建议确定。各组基础饲粮相同，其营养水平不低于 NRC（2012）猪营养需求标准，除抗生素组外均未添加抗生素，基础饲粮组成及营养水平同文献[9]。

1.2　样品采集与处理

试验结束时空腹称重，每组随机选取 8 头试猪（公母各占 1/2），前腔静脉采血，肝素抗凝，3 000 r/min 离心 15 min 分离血浆，测定脂代谢和糖代谢相关生化参数[10]。按国家标准《瘦肉型种猪性能测定技术规程》屠宰试猪，取背最长肌和股二头肌各 200 g，测定脂肪酸组成。

1.3　血浆生化参数测定

根据试剂盒（北京利德曼公司提供）说明，用CX4型全自动生化分析仪（Beckman公司产品）测定其中甘油三酯（TG）、TC、高密度脂蛋白-胆固醇（HDL-C）和低密度脂蛋白-胆固醇（LDL-C）的浓度[10-11]。

1.4　肌肉脂肪酸组成测定

参照柏美娟等[12]的方法测定肌肉样品中中长链脂肪酸的含量。准确称取肌肉冻干样 0.500 0 g 左右于 10 mL 离心管中，加入 2 mL 苯与石油醚混合物（苯与石油醚的体积比为 1:1），避光静置浸提 24 h；再加入 2 mL 氢氧化钾-甲醇溶液（0.4 mol/L）进行甲酯化，摇匀后静置 15 min；加双蒸水至 10 mL，10 000 r/min 离心 10 min，取上清液 100 μL 用 Agilent 7890A 气相色谱仪（美国安捷伦公司产品）检测上清液中脂肪酸的含量。各脂肪酸的含量以单个脂肪酸在总甲基化脂肪酸中所占的百分比表示。

1.5　数据统计与分析

试验数据采用Excel 2010初步整理后，利用SAS 9.2进行单因素方差分析（one-way ANOVA）和LSD法多重比较，以最小二乘均数表示统计结果，$P<0.05$为差异显著。

2　结果与分析

2.1　XOS 对生长肥育猪血浆生化参数的影响

由表1可知，30~100 kg阶段，100和250 g/t XOS添加组血浆TC浓度显著低于抗生素组

（$P<0.05$），500 g/t XOS添加组血浆HDL-C浓度显著高于对照组和抗生素组（$P<0.05$）。各XOS添加组血浆TG和LDL-C浓度略低于抗生素组，但差异不显著（$P>0.05$）。

2.2 XOS 对生长肥育猪股二头肌脂肪酸组成的影响

由表 2 可知，在股二头肌中，30~65 kg 阶段 250 g/t XOS 添加组和 66~100 kg 阶段 100 g/t XOS 添加组棕榈油酸(C16：1)含量显著低于对照组和抗生素组（$P<0.05$）；30~65 kg 阶段 100 和 500 g/t XOS 添加组十七烷酸(C17:0)含量显著低于对照组（$P<0.05$）；30~65 kg 阶段 100 g/t XOS 添加组油酸(C18:1n9)含量显著低于抗生素组（$P<0.05$），30~100 kg 阶段 100 g/t XOS 添加组 C18:1n9 含量显著高于对照组（$P<0.05$）；30~65 kg 阶段和 30~100 kg 阶段 100 和 500 g/t XOS 添加组花生烯酸(C20:1)含量显著高于对照组（$P<0.05$），66~100 kg 阶段 100 g/t XOS 添加组 C20:1 含量显著高于抗生组（$P<0.05$）；30~65 kg 阶段 250 g/t XOS 添加组以及 66~100 kg 阶段 100 g/t XOS 添加组单不饱和脂肪酸(MUFA)含量显著低于抗生素组（$P<0.05$），30~100 kg 阶段 100 g/t XOS 添加组 MUFA 含量显著高于对照组（$P<0.05$）；66~100 kg 阶段 250 g/t XOS 添加组饱和脂肪酸(SFA)+MUFA 含量显著高于对照组（$P<0.05$），66~100 kg 阶段 100 g/t XOS 添加组 SFA+MUFA 含量显著低于抗生组（$P<0.05$），30~100 kg 阶段 100 g/t XOS 添加组 SFA+MUFA 含量显著高于抗生素组（$P<0.05$）。

2.3 XOS 对生长肥育猪背最长肌脂肪酸组成的影响

由表3可知，在背最长肌中，30~100 kg阶段100 g/t XOS添加组C18:1n9/亚油酸(C18:2n6*c*)显著高于30~100 kg阶段500 g/t XOS添加组、对照组和抗生素组以及65~100 kg阶段100和500 g/t XOS添加组（$P<0.05$），其他脂肪酸含量各组间均无显著差异（$P>0.05$）。

表 1 低聚木糖对生长肥育猪血浆生化参数的影响

Table 1 Effects of XOS on plasma biochemical parameters in growing-finishing pigs (*n*=8) mmol/L

项目 Items	对照组 Control group	抗生素组 Antibiotic group	XOS 添加组 XOS supplementation groups									标准误 SEM	*P* 值 *P*-value
			30~65 kg 阶段 30 to 65 kg stage/(g/t)			66~100 kg 阶段 66 to 100 kg stage/(g/t)			30~100 kg 阶段 30 to 100 kg stage/(g/t)				
			100	250	500	100	250	500	100	250	500		
甘油三酯 TG	0.54	0.58	0.48	0.51	0.48	0.52	0.54	0.52	0.38	0.51	0.46	0.02	0.69
总胆固醇 TC	2.37^{abc}	2.53^{a}	2.27^{abc}	2.13^{abc}	2.38^{a}	2.22^{abc}	2.37^{abc}	2.35^{abc}	1.99^{c}	2.03^{bc}	2.18^{ab}	0.04	0.04
高密度脂蛋白-胆固醇 HDL-C	0.53^{b}	0.55^{b}	0.55^{b}	0.51^{b}	0.63^{ab}	0.54^{b}	0.62^{ab}	0.55^{b}	0.52^{b}	0.57^{b}	0.70^{a}	0.01	<0.01
低密度脂蛋白-胆固醇 LDL-C	1.58	1.69	1.48	1.36	1.57	1.46	1.46	1.51	1.38	1.32	1.43	0.03	0.18

注：同行数据上标不同字母表示差异显著（*P*<0.05）。下表同。

Note: values in the same row with different superscripts mean significant difference (*P*<0.05). The same as below.

表 2 低聚木糖对生长肥育猪股二头肌脂肪酸组成的影响

Table 2 Effects of XOS on fatty acid composition of *biceps femoris* muscle in growing-finishing pigs (*n*=8) %

项目 Items	对照组 Control group	抗生素组 Antibiotic group	XOS 添加组 XOS supplementation groups									标准误 SEM	*P* 值 *P*-value
			30~66 kg 阶段 30 to 66 kg stage/(g/t)			66~100 kg 阶段 66 to 100 kg stage/(g/t)			30~100 kg 阶段 30 to 100 kg stage/(g/t)				
			100	250	500	100	250	500	100	250	500		
肉豆蔻酸 C14:0	1.06^{ab}	1.04^{ab}	0.95^{b}	0.98^{b}	1.09^{ab}	0.98^{b}	1.09^{ab}	1.18^{a}	1.19^{a}	1.09^{ab}	1.16^{a}	0.02	0.01
棕榈酸 C16:0	22.58	22.86	22.69	22.93	22.52	22.75	24.35	23.90	23.62	23.05	23.72	1.75	0.48
棕榈油酸 C16:1	2.35^{ab}	2.50^{ab}	2.20^{bc}	2.12^{c}	2.45^{ab}	2.15^{c}	2.60^{ab}	2.65^{a}	2.61^{ab}	2.34^{ab}	2.50^{ab}	0.35	0.03
十七烷酸 C17:0	0.35^{a}	0.28^{ab}	0.23^{b}	0.32^{ab}	0.27^{b}	0.30^{ab}	0.31^{ab}	0.29^{ab}	0.29^{ab}	0.28^{ab}	0.32^{ab}	0.70	0.05
硬脂酸 C18:0	12.77	13.24	13.38	13.98	12.90	13.77	14.40	13.24	13.65	13.21	13.54	1.22	0.32

油酸 C18:1n9	35.30^{bc}	38.94^{ab}	37.83^{abc}	35.03^{bc}	37.78^{abc}	34.28^{c}	37.38^{abc}	36.77^{abc}	39.87^{a}	37.56^{abc}	38.16^{abc}	3.43	0.05
亚油酸 C18:2n6*c*	19.51	18.71	18.99	17.69	18.28	19.86	17.64	18.34	16.53	18.83	17.95	2.50	0.39
油酸/亚油酸 C18:1n9/C18:2n6*c*	1.85	2.11	2.05	2.05	2.10	1.78	2.16	2.04	2.49	2.03	2.17	0.06	0.15
亚麻酸 C18:3n6	0.14	0.18	0.22	0.15	0.15	0.17	0.15	0.20	0.18	0.19	0.21	0.06	0.25
花生酸 C20:0	0.15	0.14	0.11	0.14	0.12	0.15	0.17	0.15	0.13	0.13	0.14	0.04	0.47
花生烯酸 C20:1	0.23^{c}	0.66^{ab}	0.54^{ab}	0.47^{bc}	0.44^{bc}	0.77^{a}	0.49^{abc}	0.58^{ab}	0.65^{ab}	0.43^{bc}	0.64^{ab}	0.03	<0.01
花生三烯酸 C20:3n6	0.34	0.29	0.40	0.38	0.32	0.50	0.47	0.34	0.32	0.38	0.25	0.20	0.32
花生四烯酸 C20:4n6	4.70	4.55	4.34	5.33	5.48	6.81	4.58	4.88	3.71	4.68	3.57	2.28	0.31
二十二碳六烯酸 C22:6n3	0.29	0.30	0.32	0.26	0.25	0.34	0.24	0.32	0.22	0.33	0.25	0.10	0.16
饱和脂肪酸 SFA	38.01	37.58	37.89	38.58	37.49	37.97	40.57	38.81	38.91	38.04	39.09	2.80	0.65
单不饱和脂肪酸 MUFA	37.90^{bc}	42.12^{a}	40.63^{abc}	37.62^{bc}	40.72^{abc}	36.98^{c}	40.49^{abc}	40.08^{abc}	43.13^{a}	40.39^{abc}	41.38^{ab}	3.52	0.02
多不饱和脂肪酸 PUFA	24.95	24.03	24.26	23.80	24.48	27.66	23.07	24.07	20.94	24.40	22.20	4.04	0.20
饱和脂肪酸+单不饱和脂肪酸 SFA+MUFA	75.91^{bc}	79.70^{ab}	78.51^{abc}	76.20^{bc}	78.21^{abc}	74.95^{c}	81.06^{a}	78.88^{abc}	82.03^{a}	78.43^{abc}	80.47^{ab}	0.68	0.02

饱和脂肪酸=肉豆蔻酸+棕榈酸+十七烷酸+硬脂酸+花生酸，单不饱和脂肪酸=棕榈油酸+油酸+花生烯酸，多不饱和脂肪酸=亚油酸+亚麻酸+花生三烯酸+花生四烯酸+二十二碳六烯酸。下表同。

SFA=C14:0+C16:0+C17:0+C18:0+C20:0, MUFA=C16:1+C18:1n9+C20:1, and PUFA=C18:2n6*c*+C18:3n6+C20:3n6+C20:4n6+C22:6n3. The same as below.

表 3 低聚木糖对生长肥育猪背最长肌脂肪酸组成的影响

Table 3 Effects of XOS on fatty acid composition of *longissimus dorsi* muscle in growing-finishing pigs (*n*=8) %

项目 Items	对照组 Control group	抗生素组 Antibiotic group	XOS 添加组 XOS supplementation groups									标准误 SEM	*P* 值 *P*-values
			30~66 kg 阶段 30 to 66 kg stage/(g/t)			66~100 kg 阶段 66 to 100 kg stage/(g/t)			30~100 kg 阶段 30 to 100 kg stage/(g/t)				
			100	250	500	100	250	500	100	250	500		

肉豆蔻酸 C14:0	1.08	1.08	1.07	1.12	1.12	1.07	1.11	1.09	1.13	1.11	1.07	0.01	0.98
棕榈酸 C16:0	23.68	23.16	24.20	23.46	23.76	23.30	24.18	23.66	24.10	24.05	23.53	0.13	0.74
棕榈油酸 C16:1	2.41	2.50	2.44	2.48	2.63	2.42	2.69	2.50	2.46	2.40	2.33	0.04	0.74
十七烷酸 C17:0	0.28	0.28	0.32	0.30	0.28	0.29	0.26	0.29	0.25	0.24	0.30	0.13	0.97
硬脂酸 C18:0	14.30	13.48	14.94	14.05	13.94	14.05	14.62	14.26	15.01	14.88	14.22	0.17	0.66
油酸 C18:1n9	38.12	38.61	39.52	39.15	38.47	37.59	39.06	37.65	40.22	39.11	37.80	0.25	0.44
亚油酸 C 18:2n6*c*	15.85	15.72	13.77	15.00	14.94	15.52	14.25	16.15	13.31	14.15	16.09	0.30	0.16
油酸/亚油酸 C18:1n9/C18:2n6*c*	2.50^{b}	2.49^{b}	2.90^{ab}	2.77^{ab}	2.74^{ab}	2.44^{b}	2.87^{ab}	2.36^{b}	3.25^{a}	2.82^{ab}	2.40^{b}	0.08	0.03
亚麻酸 C18:3n6	0.48	0.26	0.29	0.30	0.11	0.12	0.23	0.12	0.10	0.33	0.14	0.38	0.52
花生酸 C20:0	0.16	0.13	0.21	0.15	0.15	0.17	0.15	0.15	0.17	0.17	0.14	0.01	0.86
花生烯酸 C20:1	0.44	0.59	0.41	0.43	0.38	0.62	0.36	0.53	0.28	0.75	0.41	0.04	0.30
花生三烯酸 C20:3n6	0.32	0.38	0.33	0.29	0.40	0.44	0.34	0.38	0.28	0.38	0.27	0.02	0.68
花生四烯酸 C20:4n6	3.73	4.28	3.14	4.29	4.00	4.47	3.64	3.95	3.36	3.41	4.83	0.17	0.28
二十二碳六烯酸 C22:6n3	0.30	0.32	0.24	0.25	0.27	0.33	0.24	0.32	0.24	0.23	0.36	0.01	0.35
饱和脂肪酸 SFA	40.50	39.31	41.29	39.80	39.95	39.53	40.97	40.03	41.33	40.88	40.07	0.25	0.71
单不饱和脂肪酸 MUFA	40.94	41.67	42.22	41.96	41.49	40.60	42.08	40.68	43.02	42.06	40.45	0.26	0.56
多不饱和脂肪酸 PUFA	20.65	20.85	17.74	20.09	19.75	21.92	19.10	21.16	17.41	18.46	21.67	0.46	0.23
饱和脂肪酸+单不饱和脂肪酸 SFA+MUFA	81.44	80.98	83.52	81.76	81.44	80.13	83.05	80.71	84.35	82.95	80.52	0.41	0.27

3 讨 论

衡量机体脂代谢强弱的指标主要包括TC、TG、HDL-C和LDL-C。TC浓度可反映动物机体对脂类的吸收代谢能力；TG浓度可反映脂肪组织发育和脂肪沉积能力，其浓度降低提示脂肪沉积能力减弱[13]；LDL-C将肝脏合成的胆固醇转运到肝外组织，而HDL-C则把胆固醇运回肝脏代谢转化为其他物质并排出体外，从而维持机体内胆固醇浓度的稳定[14]。本试验中，30~100 kg阶段，饲粮添加低剂量（100或250 g/t）XOS可显著降低血浆TC浓度，且各XOS添加组血浆TG和LDL-C浓度均有所降低；饲粮添加500 g/t XOS可显著增加血浆HDL-C浓度，同时其血浆HDL-C浓度也显著高于65~100 kg阶段500 g/t XOS添加组，提示饲粮添加XOS可改善机体的脂类代谢，其效果与添加剂量和添加阶段有关。XOS可促进肠道中双歧杆菌、乳酸杆菌等有益菌的增殖，其发酵产生的丙酸可促使胆汁酸的合成与排出，而胆汁酸可调节脂类的消化吸收和胆固醇代谢，不但能增强机体的消化能力，而且可降低血浆中TC和TG的浓度。但也有研究表明，饲粮添加0.02%的XOS可显著降低断奶荣昌仔公猪血清TC和TG浓度，而对血清LDL-C和HDL-C浓度无显著影响[15]。上述差异可能与动物品种、生长阶段和XOS添加剂量有关。

肌肉组织的脂肪酸组成不仅与其香味、多汁性、嫩度和氧化稳定性等密切相关，还影响肌肉的营养价值[16]。最近研究表明，C14:0 可提高血液中 HDL-C 的浓度，调节机体脂肪代谢，还可作为α-亚麻酸转化为二十二碳六烯酸（C22:6n3，DHA）的活化剂[17]；C16:1 可作为一种脂质激素影响脂肪合成，调节血浆酯类，进而干预动脉粥样硬化和脂肪肝等疾病[18]；C18:1n9 是一种主要的 MUFA，能够降低血液 LDL-C 和 TC 的浓度，且食用 C18:1n9 含量较高的猪肉对预防动脉硬化具有一定的作用。本试验中，30~100 kg 阶段 100 g/t XOS 添加组股二头肌中 C18:1n9、C20:1 含量显著高于对照组，提示试验全期添加低剂量 XOS 可显著调节机体脂肪合成。

MUFA 和 SFA+MUFA 含量与肉的香味和可接受度呈正相关[19]；多不饱和脂肪酸（PUFA）含量与肉的香味和可接受度呈负相关[20]，肌肉中 PUFA 的含量越高越易被氧化酸败，进而影响其口感和风味。另外，C18:1n9/C18:2n6*c* 也是反映肌肉稳定性及其营养价值的重要指标。本试验中，30~100 kg 阶段饲粮中添加 100 g/t XOS 后可显著增加股二头肌中 MUFA 和 SFA+MUFA 含量，提示试验全期添加低剂量的 XOS 可改善猪肉风味。这与前人在家禽上的研究结果[21]基本一致。肌内脂肪含量与猪肉的嫩度、多汁性和风味等指标密切相关。本试验室前期研究发现，30~100 kg 阶段饲粮中添加 100 g/t XOS 增加了肌肉中肌内脂肪的含量[9]。本试验还发现，30~100 kg 阶段饲粮中添加 100 g/t XOS 可显著增加背最

长肌中 C18:1n9/C18:2n6*c*，但添加 500 g/t XOS 反而显著降低其 C18:1n9/C18:2n6*c*，提示试验全期添加低剂量的 XOS 可改善猪肉的营养价值，但添加高剂量 XOS 可能会影响猪肉的稳定性。另外，与 30~100 kg 阶段饲粮中添加 100 g/t XOS 相比，65~100 kg 阶段饲粮中添加 100 g/t XOS 也显著降低背最长肌中 C18:1n9/C18:2n6*c*，说明在整个生长肥育期添加低剂量 XOS 效果相对较佳，其具体原因还有待进一步探讨。

4 结 论

饲粮添加一定剂量的XOS可通过调控与脂代谢相关的血浆生化参数增加肌肉中MUFA和SFA+MUFA含量以及油酸/亚油酸，进而改善猪肉的风味和营养价值，且以30~100 kg阶段添加100 g/t XOS为最佳。

参考文献：

[1] WU X,RUAN Z,KONG X F,et al.Functions of microbiota in monogastric gastrointestinal tract and new practices in animal production[J].Journal of Food Agriculture & Environment, 2010,8(2):695-702.

[2] 马建爽,常文环,张姝,等.甜菜碱对肉鸡生长性能、脂质代谢及肌肉风味品质的影响[J].动物营养学报,2015,27(1):185-195.

[3] 谭利伟,管昶,周鲁宁,等.壳寡糖在动物营养中的研究与应用[J].中国畜牧杂志,2016,52(17):91-97.

[4] SMIRICKY-TJARDES M R,FLICKINGER E A,GRIESHOP C M,et al.*In vitro* fermentation characteristics of selected oligosaccharides by swine fecal microflora[J].Journal of Animal Science,2003,81(10):2505-2514.

[5] ZHOU X L,KONG X F,YANG X J,et al.Soybean oligosaccharides alter colon short-chain fatty acid production and microbial population *in vitro*[J].Journal of Animal Science 2012,90(Suppl.4):37-39.

[6] CARVALHO A F A,DE OLIVA NETO P,DE SILVA D F,et al.Xylo-oligosaccharides from lignocellulosic materials:chemical structure,health benefits and production by chemical and enzymatic hydrolysis[J].Food Research International,2013,51(1):75-85.

[7] 谭兵兵,姬玉娇,丁浩,等.低聚木糖对断奶仔猪生长性能、腹泻率和血浆生化参数的影响[J].动物营养学报,2016,28(8):2556-2563.

[8] 扶国才,贺生中,周岩民,等.低聚木糖对生长猪免疫功能和血液生化指标的影响[J].扬州大学学报:农业与生命科学版,2009,30(3):50-53.

[9] 潘杰,韩丽,孔祥峰,等.低聚木糖对生长肥育猪生长性能、胴体性状和肉品质的影响[J].动物营养学报,2017,29(7):2475-2481.

[10] 周笑犁,傅德智,孔祥峰,等.大豆寡糖对断奶环江香猪生长性能和营养物质代谢的影响[J].天然产物研究与开发,2012,24(1):98-101.

[11] 吴琛,刘俊锋,孔祥峰,等.日粮添加精氨酸生素对环江香猪肉质及抗氧化功能的影响[J].天然产物研究与开发,2011,23(5):901-904.

[12] 柏美娟,孔祥峰,徐海军,等.瘦肉型和脂肪型肥育猪胴体性状和肉质的比较研究[J].中国畜牧兽医,2009,36(6):178-181.

[13] 祝倩,孔祥峰,姬玉娇,等.高、低营养水平饲粮对妊娠环江香猪繁殖性能、体成分和血浆生化参数的影响[J].动物营养学报,2016,28(5):1534-1540.

[14] 查伟,孔祥峰,谭敏捷,等.饲粮添加脯氨酸对妊娠环江香猪繁殖性能和血浆生化参数的影响[J].动物营养学报,2016,28(2):579-584.

[15] KESER O,BILAL T,KUTAY H C,et al.Effects of chitosan oligosaccharide and/or beta-glucan supplementation to diets containing organic zinc on performance and some blood indices in broilers[J].Pakistan Veterinary Journal,2012,32(1):15-19.

[16] 杨海玲,曾勇庆,魏述东,等.莱芜猪肌肉脂肪酸组成的发育性变化及其对肉质特性的影响[J].中国畜牧杂志,2006,42(5):18-21.

[17] LEGRAND P,RIOUX V.The complex and important cellular and metabolic functions of saturated fatty acids[J].Lipids,2010,45(10):941-946.

[18] 张泽生,高山,郭擎,等.棕榈油酸的研究现状及展望[J].中国食品添加剂,2016(9):198-202.

[19] WOOD J D,ENSER M,FISHER A V,et al.Fat deposition,fatty acid composition and meat quality:a review[J].Meat Science,2008,78(4):343-358.

[20] CAMERON N D,ENSER M,NUTE G R,et al.Genotype with nutrition interaction on fatty acid composition of intramuscular fat and the relationship with flavour of pig meat[J].Meat Science,2000,55(2):187-195.

[21] 李阳,常文环,张姝,等.饲粮添加壳寡糖和干酪乳杆菌对肉鸡生长性能、肌肉品质及抗氧化性能的影响[J].动物营养学报,2016,28(5):1450-1461.

Effects of Xylo-Oligosaccharide on Plasma Biochemical Parameters and Fatty Acid Composition

of Muscle in Growing-Finishing Pigs[i]

HAN Li[1] PAN Jie[2] ZHANG Ting[1] XIE Peifeng[1,2] Ding Hao[2,3] HUANG Xingguo[2] KONG Xiangfeng[1*]

(1. *Key Laboratory of Agro-Ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha* 410125, *China;* 2.*College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha* 410128, *China;* 3.*Shandong Longli Biotechnology Co., Ltd., Yucheng* 251200, *China*)

Abstract: The present study was conducted to investigate the effects of xylo-oligosaccharide (XOS) on plasma biochemical parameters and fatty acid composition of muscle in growing-finishing pigs. A total of 110 Duroc×Large White×Landrace pigs at 70 days of age with an initial body weight about 30 kg were randomly assigned to 11 groups with 10 pigs per group (male:female=1:1), and fed individually. The experimental groups included control group （pigs were fed a basal diet）, antibiotic group （pigs were fed the basal diet supplemented with 0.04 kg/t Stafac and 0.2 kg/t Acrasin）, supplementation groups of 100, 250 or 500 g/t XOS during 30 to 65 kg stage (pigs were fed the basal diet supplemented with 100, 250 or 500 g/t XOS during 30 to 65 kg stage, and were fed the basal diet during 66 to 100 kg stage), supplementation groups of 100, 250 or 500 g/t XOS during 66 to 100 kg stage (pigs were fed the basal diet during 30 to 65 kg stage, and were fed the basal diet supplemented with 100, 250 or 500 g/t XOS during 66 to 100 kg stage), and supplementation groups of 100, 250 or 500 g/t XOS during 30 to 100 kg stage (pigs were fed the basal diet supplemented with 100, 250 or 500 g/t XOS). When the average body weight of pigs reached about 100 kg (about 170 days of age), blood samples were collected by precaval vein, and then plasma were obtained by centrifuge for analyzing biochemical parameters. The samples of *longissimus dorsi* (LD) muscle and *biceps femoris* (BF) muscle were collected and their fatty acid composition were measured. The results showed that, when compared with the control group, supplementation with 100 or 500 g/t XOS significantly decreased the daturic acid (C17:0) content of BF muscle during 30 to 65 kg stage (P<0.05); during 66 to100 kg stage, supplementation with 250 g/t XOS significantly increased the content of saturated fatty acid (SFA)+monoun saturated fatty acid (MUFA) of BF muscle (P<0.05), and supplementation with 100 or 500 g/t XOS significantly increased the arachidomic acid (C20:1) content of BF muscle (P<0.05); during 30 to 100 kg stage, supplementation with 100 g/t XOS significantly increased the ratio of oleic acid

(C18:1n9) to linoleic acid (C18:2n6*c*) ($P<0.05$) of LD muscle, as well as the contents of C20:1, MUFA and SFA+MUFA of BF muscle, supplementation with 100 or 250 g/t XOS significantly decreased the plasma total cholesterol concentration ($P<0.05$), and supplementation with 500 g/t XOS significantly increased the plasma high-density lipoprotein-cholesterol concentration ($P<0.05$). Collectively, these findings suggest that supplementation with a dose of XOS can increase the muscular contents of MUFA and SFA+MUFA by regulating plasma biochemical parameters related to fat metabolism, which improve the flavor and nutritive value of pork; dietary supplementation with 100 g/t XOS is optimal during 30 to 100 kg stage in growing-finishing pigs.

Key words: xylo-oligosaccharides; growing-finishing pigs; plasma biochemical parameters; muscle; fatty acids

---

*Corresponding author, professor, E-mail: nnkxf@isa.ac.cn （责任编辑　菅景颖）